



UNIVERSITÄT HOHENHEIM

INSTITUT FÜR BODENKUNDE  
UND STANDORTSLEHRE

---

## HOHENHEIMER BODENKUNDLICHE HEFTE

---

Herausgeber:

Ellen Kandeler - Thilo Rennert - Karl Stahr - Thilo Streck

Heft 119

**Suwimon Wicharuck**

**Land Use Sustainability and Soil Resource Conservation  
in Northern Thai Highlands**

2016

UNIVERSITÄT HOHENHEIM (310), D-70593 STUTTGART

ISSN 0942-0754



UNIVERSITÄT HOHENHEIM  
INSTITUT FÜR BODENKUNDE  
UND STANDORTSLEHRE

---

## HOHENHEIMER BODENKUNDLICHE HEFTE

---

Herausgeber:

Ellen Kandeler – Thilo Rennert – Karl Stahr – Thilo Streck

Heft 119

**Suwimon Wicharuck**

**Land Use Sustainability and Soil Resource Conservation  
in Northern Thai Highlands**

2016

UNIVERSITÄT HOHENHEIM (310), D-70593 STUTTGART

ISSN 0942-0754

## 9. Summary/Zusammenfassung

### 9.1 Summary

#### Land Use Sustainability and Soil Resource Conservation in Northern Thai Highlands

This study attempts to understand management strategies for Northern Thai Highland (NTH) soils in order to achieve sustainable soil conservation and to determine the most sensitive time for soil erosion under specific environmental conditions in the NTH. The aims of this study were to investigate the seasonal variations of soil properties and the changes of surface runoff and soil translocation under different land use types. Further objectives were to estimate soil erodibility based on the "Universal Soil Loss Equation" (Wischmeier & Smith 1978) and to test the possibility of gamma-ray spectrometry to predict soil erosion at field scale.

Experimental sites were located in Bor Krai and Luk Kao Lam villages, in Pang Ma Pha district, Mae Hong Son province as well as in the Mae Sa watershed, in Mae Rim district, Chiang Mai province. The study was conducted from 2007 to 2009 on sloping lands under rainfed conditions, with an elevation of 700-900 m.a.s.l.. Five types of land use were analysed in ten small runoff plots, which were (i) secondary forest (SF-A and SF-B), (ii) land that has been fallow for three years in 2007 (FaL), (iii) mixed- and litchi orchard (MixO and LiO, respectively), (iv) maize in three different locations (M-A, M-B and M-C) and (v) upland rice in two different sites (UR-A and UR-B).

Soils in Bor Krai and Luk Kao Lam villages are classified as Alisols, developed from limestone (SF-A, M-A, M-C and UR-B) and claystone (FaL, MixO, M-B and UR-A), while soils in Mae Sa watershed are classified as Acrisols, developed from granite (SF-B and LiO). Agriculture in Bor Krai and Luk Kao Lam villages is based on shifting cultivation (slash-and-burn), while agriculture in Mae Sa watershed is intensive and market-oriented focusing on production of cash-crops.

In both study areas, disturbed and undisturbed soil samples, within 0-0.2 m soil depth, were taken every month during the rainy season (May-October) and 1-3 times during the dry season (November-December and January-April). Measured soil properties were soil reaction (pH), organic matter content (OM), available phosphorus (Bray P-II), exchangeable potassium (exchangeable K), soil texture, bulk density (BD), stable aggregate based on total soil mass (SAT), soil water content ( $\theta$ ), total stored water within 1 m soil depth (TSW), steady infiltration rates (IR) and saturated hydraulic conductivity ( $K_s$ ).

The highest values of pH (6.17) and exchangeable K (425 mg kg<sup>-1</sup>) were observed under M-A, while the highest OM (6.3 %) and Bray P-II (35 mg kg<sup>-1</sup>) occurred under M-C and MixO, respectively. Three types of soil textural classes, namely clay, clay loam and sandy clay were found in topsoil samples and clay was the main soil textural class for subsoils under all types of land use. The highest BD value was observed under UR-A (1.31 g cm<sup>-3</sup>), with the lowest IR (36 cm h<sup>-1</sup>) and  $K_s$  (21 cm h<sup>-1</sup>) values, while SF-A had the lowest BD value (0.81 g cm<sup>-3</sup>). The highest values of IR and  $K_s$  were found under at LiO (93 cm h<sup>-1</sup>) and SF-B (69 cm h<sup>-1</sup>) sites, respectively. M-A, M-B and UR-A showed the lowest value of SAT (32 %) and the highest SAT value was detected under FaL (50 %). The values of  $\theta$  during dry and rainy season showed that UR-A had the lowest  $\theta$  in both seasons. The highest  $\theta$  values during rainy and dry seasons were observed under LiO and MixO, respectively. The highest values of TSW

during the rainy and dry seasons were observed under UR-B, while UR-A gave the lowest TSW values during both seasons.

In general, the changes of soil properties not only depend on parent materials, but were also influenced by land management practices and land use. Under maize and upland rice, agricultural practices such as slash-and-burn increased soil pH, improved the amount of soil OM, released soil nutrients and reduced soil compaction. Nevertheless, continuous use of land tended to decrease soil pH, OM, P and K and cause soil compaction and soil aggregate alterations. After a period of cultivation, abandoned land was allowed to go fallow and natural vegetation was allowed to colonize the field. The regeneration of vegetation protected surface soils from rainfall impact and led to an accumulation of humus and organic materials in the soil. This process improved chemical and physical properties of the soils.

Determination of surface runoff and soil translocation using a modified Gerlach Trough (GT) under different types of land use was carried out after every effective rainstorm in both study areas. The GTs were made of local bamboo and connected to a sedimentation tank and were installed in a W-formation on each field. Water and eroded materials were collected after effective rainstorm events during the rainy season (May-October) specified as i) 2007-2009 under SF-A, M-A, FaL and UR-A, ii) 2008-2009 under MixO, iii) 2008 under SF-B and LiO and iv) 2009 under M-C and UR-B.

Rainfall generated surface runoff, while both rainfall and surface runoff caused soil translocation. Splash and sheet erosions were observed under all land use types. Dense ground cover under forest (SF-A and SF-B), fallow (FaL) and orchard (MixO and LiO) caused little or almost negligible amounts of surface runoff and soil translocation, when compared to the vegetation cover of maize (M-A, M-B and M-C) and upland rice (UR-A and UR-B).

Under maize and upland rice, agricultural practice such as slashing, burning and ploughing soil for seedbed preparation exposed the soil surface allowing it to be affected by direct impact of raindrops, which resulted in detachment and entrainment of soil aggregates. Disintegration of soil aggregates blocked up the soil pores and increased soil BD causing high amounts of surface runoff and soil translocation at the beginning of the rainy season (May-June) under maize and upland rice. Later on in the rainy season (July-October), the development of cereal crops increased the soil surface protection from the direct raindrop impacts, which led to decreased soil translocation. However, the amounts of surface runoff water remained high. Amounts of surface runoff and soil translocation under upland rice were higher than under maize. This was due to the fact that maize was sown one month earlier than upland rice. An advance development of vegetation covered the soil surface from the raindrop impact. In addition, at the same land use types, maize and upland rice on limestone tended to have lower amounts of soil translocation than on claystone.

Estimation of soil erodibility was calculated from the nomograph equation under all land use types in Bor Krai and Luk Kao Lam villages. Input parameters for the nomograph equation were soil organic matter, particle size distribution (based on USDA classification), soil structure and soil permeability.

Soil erodibility ( $K$ -factor<sub>nomograph</sub>) values on claystone soils ( $0.020 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) were higher than limestone soils ( $0.005 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ). This pointed out that soils on claystone had higher susceptibility to detachment and transport by rainwater,

compared to limestone soils. Under different land use types, UR-A had the highest  $K\text{-factor}_{\text{nomograph}}$ , which indicated that soil under UR-A was the most susceptible to erosion.

Comparison between the  $K\text{-factor}_{\text{nomograph}}$  values and soil translocation data was different among parent materials. On claystone soils, the highest  $K\text{-factor}_{\text{nomograph}}$  values together with high amounts of translocated soil occurred at upland rice sites. For limestone soils, low  $K\text{-factor}_{\text{nomograph}}$  with high amounts of translocated soil occurred under both maize and upland rice, while high  $K\text{-factor}_{\text{nomograph}}$  with low translocated soil was found under forested sites. In general, if the actual rates of soil translocation were high, calculated  $K\text{-factor}_{\text{nomograph}}$  values could be either high or low, which could be attributed to the formulation of the nomograph equation itself. In this study, the soil permeability parameter is the same for all land use types and, as a result, the  $K\text{-factor}_{\text{nomograph}}$  values depend on the soil particle distribution, organic matter and soil structure parameters. Without considering the results reported above, soils that are low in very fine sand and silt fractions with high clay and organic matter contents together with granular structure tend to have low soil erodibility. This was the case presented under production of maize and upland rice on limestone soils. There, sites had low  $K\text{-factor}_{\text{nomograph}}$  values with high amounts of translocated soils. Therefore, the nomograph equation could potentially be applied for soil erodibility determination, but it should be modified for use in the study area.

A soil erodibility map of Bor Krai village was executed by the inverse distance method using ArcGIS software. The map was solely based on soil textural classes. It showed that the most erodible soil surface occurred in silt loams, which contained clay fractions of less than 23 % and silt fractions of up to 59 %. In fact, soils with high natural erodibility may rarely display great soil loss, while a sign of serious erosion may occur in soils with a relatively low erodibility factor. This can be due to several differences of local topography, vegetation covers and management practices. Therefore, mapping of soil erodibility using soil textural classes alone does not provide actual erosion values. However, the map is of practical use for local governments as an overview of erodibility risks. But detailed information should be connected to the local situation such as crop production and soil properties.

A handheld radiometer GRM-260 was placed above each Gerlach Trough under different types of land use to measure gamma-ray signatures ( $K$ ,  $eU$  and  $eTh$ ) in Bor Krai and Luk Kao Lam villages in order to investigate the possibility of gamma-ray spectrometry to predict soil translocation. The measured gamma-ray signatures displayed different radiosignatures regarding to parent materials. Limestone soils had lower  $K$  and  $eTh$  concentrations ( $K=0.6$  % and  $eTh=10.4$  ppm) than claystone soils ( $K=1.4$  % and  $eTh=10.8$  ppm). The higher average value of  $eU$  (4.3 ppm) was found on soils from limestone, when compared to claystone soils (4.1 ppm). Different proxies of gamma-ray ( $K$ ,  $eU$  and  $eTh$ ) were observed under different types of land use. FaL gave the highest concentration of  $K$  (1.8 %) and SF-A had the highest  $eU$  (5.4 ppm) and  $eTh$  (15.8 ppm) values. Surprisingly, poor or no correlations between soil translocation and gamma-ray signatures were calculated. This was due to heterogeneous surface soil materials during the measurement, which resulted in outliers and scattering of soil translocation data. Measurement of radiosignatures alone might not be appropriate for estimation of temporal soil translocation.

The results of this study are useful not only for the local farmers in the NTH, but also for scientists and local authorities in concerning awareness of sustainable cultivation

land use under rainfed conditions, especially in research area. As conventional highland agriculture in NTH areas is based on shifting cultivation, the fallow period has been shortened due to pressures from population growth and agricultural policy. This causes the practice of unsustainable cropping sequences in the NTH. Especially, cultivation of cereals (maize and upland rice) will lead to remarkably high amounts of soil translocation. Vegetation burning ought to be restricted in terms of the effect on environmental problems and long-term influences on soil resources. Plant residues should be left in the fields to protect the ground surface after harvesting. Relay cropping, between main crop and alternative crop such as coriander, kidney bean and lablab bean, should be introduced into rainfed upland areas. Applying soil conservation practices like mulching would help to protect the soil surface and maintain soil fertility in long-term sustainability of NTH farming systems. Local governments should play an important role in promoting sustainable land use and raising awareness of environmental protection with NTH farmers.

## 9.2 Zusammenfassung

### Nachhaltigkeit der Landnutzung und Schutz der Bodenressourcen im Bergland Nordthailands

Diese Arbeit soll einen wichtigen Beitrag zur nachhaltigen Bewirtschaft der nördlichen Bergländer Thailands (NTH) leisten und den kritischen Zeitpunkt für Bodenerosion unter den Umweltbedingungen der NTH bestimmen. Die Ziele der Arbeit bestehen in der Untersuchung der saisonalen Schwankungen der Bodeneigenschaften, der Wechsel des Oberflächenabflusses und der Bodenverlagerungen in verschiedenen Landnutzungsvarianten in Berglandböden. Weitere Ziele sind die Bodenerodierbarkeit auf Grundlage der universellen Bodenverlustgleichung zu schätzen (Wischmeier and Smith 1978) und die Einsatzmöglichkeiten von Gammastrahlenspektrometrie für die Vorhersage von Bodenerosion auf Feldskala zu untersuchen.

Der Versuch wurde in den Dörfern Bor Krai und Luk Kao Lam, Pang Ma Pha Distrikt, Mae Hong Son Provinz und im Wassereinzugsgebiet von Mae Sa, Mae Rim Distrikt, Chiang Mai Provinz durchgeführt. Die Studie fand von 2007 bis 2009 in hügeliger Landschaft unter Regenfeldbau in 700-900 m ü.NN. statt. Fünf Landnutzungsvarianten wurden in zehn kleinen Abflussflächen getestet. Es sind Flächen unter (i) Sekundärwald (SF-A und SF-B), (ii) Land, das 2007 seit 3 Jahren brach lag (FaL), (iii) gemischten Obst- und Litchiplantagen (MixO bzw. LiO), (iv) Mais in drei verschiedenen Lagen (M-A, M-B und M-C) und (v) Bergreis in zwei verschiedenen Positionen (UR-A und UR-B).

Die Böden in Bor Krai und Luk Kao Lam sind als Alisols klassifiziert, die sich aus Kalkstein (SF-A, M-A, M-C und UR-B) und Tonstein (FaL, MixO, M-B und UR-A) entwickelt haben, während Böden im Mae Sa Wassereinzugsgebiet als Acrisols klassifiziert sind, die sich aus Granit (SF-B und LiO) entwickelten. Die Landwirtschaft in Bor Krai und Luk Kao Lam wird dominiert von Wanderfeldbau (Brandrodung), während die Landwirtschaft im Mae Sa Wassereinzugsgebiet bereits permanent und marktorientiert ist.

In beiden Arbeitsregionen wurden jeden Monat in der Regenzeit (Mai bis Oktober) und 1-3 Mal in der Trockenzeit (November bis Dezember und Januar bis April) gestörte und ungestörte Bodenproben in 0-0,2 m Bodentiefe unter den verschiedenen Landnutzungen genommen. Gemessene Bodenparameter waren Bodenreaktion (pH), Gehalt an organischer Substanz (OM), verfügbarer Phosphor (Bray P-II), austauschbares Kalium (austauschbares K), Bodenart, Lagerungsdichte (BD), stabile Aggregate bezogen auf die Gesamtbodensumme (SAT), Bodenwassergehalt ( $\theta$ ), gesamtes gespeichertes Wasser in 1 m Tiefe (TSW), Infiltrationsrate (IR) und gesättigte hydraulische Leitfähigkeit ( $K_s$ ).

Die höchsten pH Werte (6,17) und Werte an austauschbarem Kalium ( $425 \text{ mg kg}^{-1}$ ) wurden unter M-A gefunden und die höchsten OM (6,3%) und Bray P-II ( $35 \text{ mg kg}^{-1}$ ) Werte traten unter M-C und MixO auf. Drei verschiedene Gruppen an Bodentexturklassen, nämlich Ton, toniger Lehm und sandiger Lehm wurden in den Oberböden identifiziert; Ton war die Haupttexturklasse in Unterböden unter allen Landnutzungen. Die höchste BD ( $1,36 \text{ g cm}^{-3}$ ) mit den geringsten IR- ( $36 \text{ cm h}^{-1}$ ) und  $K_s$ -Werten ( $21 \text{ cm h}^{-1}$ ) wurde unter UR-A gefunden, während SF-A die geringste BD ( $0,81 \text{ g cm}^{-3}$ ) aufwies. Die höchsten IR- und  $K_s$ -Werte befanden sich unter LiO ( $93 \text{ cm h}^{-1}$ ) bzw. SF-B ( $69 \text{ cm h}^{-1}$ ). M-A brachte den niedrigsten SAT-Wert (32 %) und

der höchste SAT-Wert wurde unter FaL gemessen (50 %). Die  $\theta$ -Werte während der Regen- und Trockenzeit zeigen, dass UR-A den geringsten Wert in beiden Jahreszeiten hatte. Die höchsten  $\theta$ -Werte während Regen- und Trockenzeit wurden unter LiO bzw. MixO gemessen. Die niedrigsten und höchsten TSW-Werte während Trocken- und Regenzeit wurden unter SF-B und UR-B gefunden.

Im Allgemeinen hängen die unterschiedlichen Bodeneigenschaften nicht nur vom Ausgangsgestein ab, sondern werden auch durch die Bodenbearbeitungsmethoden und Landnutzungen beeinflusst. Unter Mais und Trockenreis erhöhen landwirtschaftliche Maßnahmen wie das Beseitigen und Verbrennen der oberirdischen Biomasse den pH-Wert, verbessern den Gehalt an Boden OM, setzen Bodennährstoffe frei und reduzieren Bodenverdichtung. Dennoch neigt die ständige Bewirtschaftung der Ackerfläche dazu, den Boden pH-Wert, OM, P und K und auch Bodenverdichtung und Bodenaggregatzersetzung zu verschlechtern. Nach einem Bewirtschaftungszeitraum kann sich spontane Vegetation wieder auf Brache ansiedeln. Die Erneuerung der Vegetation schützt die Oberböden vor dem Aufprall des Regens und führt zu einer Anreicherung von Humus und organischem Material im Boden. Dieser Prozess verbessert die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Böden.

Die Bestimmung von Oberflächenabfluss und Bodenverlagerungen mit einem modifizierten Gerlachtrug (GT) unter verschiedenen Landnutzungen wurde nach jedem effektiven Regen in beiden Arbeitsgebieten durchgeführt. Die GTs wurden aus einheimischem Bambus gefertigt und mit dem Sedimentationstank verbunden. Die GTs wurden in jedem Feld in einer W-Formation installiert. Wasser und erodiertes Material wurden nach jedem effektiven Regen während der Regenzeit (Mai bis Oktober) gesammelt.

Regenfälle erzeugen Oberflächenabfluss und sowohl Regenfälle als auch Oberflächenabfluss führen zu Bodenverlagerungen. Aufschlags- und Flächenerosion wurden unter allen Landnutzungen beobachtet. Dichtes Unterholz im Wald (SF-A und SF-B), Brache (FaL) und Plantagen (MixO und LiO) verglichen mit Mais (M-A, M-B und M-C) und Bergreis (UR-A und UR-B) brachten wenig oder fast vernachlässigbare Mengen an Oberflächenabfluss und Bodenverlagerung.

Unter Mais und Trockenreis legen landwirtschaftliche Praktiken wie Brandrodung und das Bearbeiten des Bodens zur Saatbettbereitung die Bodenoberfläche frei und die Tropfen fallen direkt auf sie, was zur Zerstörung von Aggregaten und ihrer Verschlämmung führt. Das Auflösen der Bodenaggregate verstopft die Bodenporen, führt zu Bodenverdichtung und Bildung von Bodenverkrustungen. Letztere verursachen große Mengen an Oberflächenabfluss und Bodenverlagerungen am Anfang der Regenzeit (Mai - Juni) unter Mais und Trockenreis. Später schützen die Getreidepflanzen die Bodenoberfläche vor einem direkten Tropfenaufprall, was zu einer verringerter Bodenverlagerung führt (Juli - Oktober). Trotzdem bleibt der Oberflächenabfluss hoch. Die Mengen an Oberflächenabfluss und Bodenverlagerung sind unter Bergreis höher als beim Mais. Dies geschah, da der Mais einen Monat früher gesät wurde als Bergreis. Die frühe Vegetationsentwicklung bedeckte die Bodenoberfläche und schwächt den Aufprall der Tropfen. Zusätzlich tendieren Mais und Bergreis auf Kalkstein zu geringerer Bodenverlagerung als Mais und Bergreis auf Tonstein.

Schätzungen zur Bodenerodierbarkeit wurden mit der Nomogramm-Gleichung für alle Landnutzungsarten in Bor Krai und Luk Kao Lam vorgenommen.

Eingangsgrößen für die Nomogramm-Gleichung sind organische Masse im Boden, Korngrößenverteilung nach der USDA Klassifikation, Bodenstruktur und Bodendurchlässigkeit.

Bodenerodierbarkeitswerte ( $K$ -factor<sub>nomograph</sub>) auf Tonstein ( $0.020 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) sind größer als auf Kalkstein ( $0.005 \text{ Mg h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ). Diese Tatsache zeigt, dass Böden auf Tonstein verglichen mit Böden auf Kalk eine größere Empfindlichkeit zur Loslösung aufweisen und von Regen transportiert werden. Unter verschiedenen Landnutzungen hatte UR-A die höchsten  $K$ -factor<sub>nomograph</sub>-Werte, was zeigt, dass Böden unter UR-A die erosionsempfindlichsten sind.

Ein Vergleich zwischen den  $K$ -factor<sub>nomograph</sub> Werten und Bodenverlagerungsdaten brachte verschiedene Ergebnisse zwischen den Ausgangsmaterialien. Auf Tonsteinböden traten unter Bergreis die höchsten  $K$ -factor<sub>nomograph</sub> Werte zusammen mit den größten Mengen an Bodenverlagerungen auf. Bei Kalksteinböden traten geringe  $K$ -factor<sub>nomograph</sub> Werte mit großen Mengen an verlagertem Boden unter Mais und Bergreis auf, während hohe  $K$ -factor<sub>nomograph</sub> Werte mit wenig verlagertem Boden unter Wald gefunden wurden. Im Allgemeinen konnten die berechneten  $K$ -factor<sub>nomograph</sub> Werte groß/klein oder umgekehrt sein, wenn die eigentlichen Bodenverlagerungsraten hoch waren, was der Nomogrammgleichung zuzuschreiben ist. Abgesehen von den hier dargestellten Ergebnissen, neigen Böden mit geringer Feinsand- und Schlufffraktion mit hohen Tongehalten und viel organischer Substanz dazu, wenig erodierbar zu sein. In dieser Arbeit sind die Bodendurchlässigkeitsparameter für alle Landnutzungsarten gleich, außerdem hängen die  $K$ -factor<sub>nomograph</sub> Werte von Partikelgrößenverteilung, Gehalt an organischer Substanz und Bodenstruktur ab. Granuläre Struktur führt auch zu geringer Erodierbarkeit. Somit hatten Mais und Bergreis auf Kalksteinböden die geringsten  $K$ -factor<sub>nomograph</sub> Werte mit hohen Mengen an verlagertem Boden. Daraus folgend kann die Nomogrammgleichung potentiell für Bodenerodierbarkeitsbestimmungen angewendet werden.

Die Bodenerodierbarkeitskarte von Bor Krai wurde mit der ArcGIS Software mit der „inverse distance“ Methode angefertigt. Die Karte für Bor Krai basiert ausschließlich auf Bodentexturklassen, ohne die anderen Parameter zu berücksichtigen. Sie zeigt, dass die erodierbarsten Bodenoberflächen auf schluffigem Lehm vorkommen. Die Karte zeigt, dass die erodierbarsten Bodenoberflächen mit schluffigem Lehm mit weniger als 23 % Ton und bis zu 59 % Schluff auftraten. Tatsächlich können Böden mit hoher natürlicher Erodierbarkeit kaum Bodenverlust aufweisen, während Anzeichen von beträchtlicher Erosion auf Böden mit relativ geringem Erosionsfaktor auftreten können. Dies geschieht aufgrund von Unterschieden in der lokalen Topographie und Pflanzenbedeckung. Somit brachte die Kartierung ausschließlich auf Grundlage der Bodentexturklassen keine aussagefähigen Werte. Diese Karte bietet für Entscheidungsträger einen örtlichen Überblick über die Bodenerosion, für detaillierte Informationen sollten aber die lokalen Gegebenheiten wie Anbaufrüchte und Böden mitberücksichtigt werden.

Ein Handradiometer GRM-260 wurde in Bor Krai und Luk Kam Lao unter den verschiedenen Landnutzungen zur Gammastrahlensignaturmessung ( $K$ ,  $eU$  und  $eTh$ ) über jedem Gerlachtrug platziert, um das Potenzial von Gammastrahlenmessungen zur Vorhersage von Bodenverlagerungen zu untersuchen. Das Ergebnis zeigt, dass Gammastrahlensignaturen verschiedene Radiosignale entsprechend dem Ausgangsgestein ergaben. Kalkstein weist geringere  $K$ - und  $eTh$ -Konzentrationen

( $K=0,6\%$  und  $eTh = 10,4$  ppm) auf als Tonsteinböden ( $K=1,4\%$  und  $eTh=10,8$  ppm). Der höhere Durchschnittswert an  $eTh$  (4,3 ppm) wurde auf Böden aus Kalkstein gefunden, Böden aus Tonstein wiesen nur 4,1 ppm auf. Verschiedene Gammastrahlenmesswerte ( $K$ ,  $eU$  und  $eTh$ ) wurden unter verschiedenen Landnutzungsarten beobachtet. FaL erbrachte die höchste Konzentration an  $K$  (1,8 %), SF-A hatte den höchsten  $eU$  (5,4 ppm) und  $eTh$  (15,8 ppm) Wert. Überraschenderweise wurden nur geringe oder keine Korrelationen zwischen Bodenverlagerungen und Gammastrahlensignaturen gefunden. Grund hierfür sind die heterogenen Oberbodenmaterialien während der Messung, die zu Ausreißern und Streuung der Bodenverlagerungsdaten führten. Die ausschließliche Messung von Radiosignaturen ist für die Schätzung von temporären Bodenverlagerungen nicht geeignet. Deshalb sind für die Aussagefähigkeit dieser Werte weitere Studien notwendig.

Die Ergebnisse dieser Studie sind nicht nur für die einheimischen Hochlandbauern von Nutzen, sondern auch für Wissenschaftler und lokale Behörden hinsichtlich des Bewusstseins für nachhaltigen Anbau unter niederschlagsbewässerten Bedingungen. Da konventionelle Landwirtschaft im nordthailändischen Hochland auf Wanderfeldbau basiert, wurde die Bracheperiode aufgrund von Bevölkerungswachstum und Druck auf Landfläche verkürzt. Dies ist der Grund für nicht nachhaltige Anbauabfolgen in Nordthailand. Besonders Getreideanbau (Mais und Trockenreis) kann zu beachtlichen Bodenverlagerungen führen. Das Verbrennen der Vegetation sollte wegen der negativen Auswirkungen auf die Umwelt und des langfristigen Einflusses auf den Boden für indigene Bauern begrenzt werden. Pflanzenrückstände sollten im Feld belassen werden um die Bodenoberfläche nach der Ernte zu schützen. Zwischenfruchtbausysteme wie Koriander, Kidneybohne und Lablabbohne sollten eingeführt werden. Die Anwendung von Bodenkonservierungsmaßnahmen wie Mulchen hilft die Bodenoberfläche zu schützen und die Bodenfruchtbarkeit in langfristig nachhaltiger Hochlandlandwirtschaft zu erhalten. Außerdem sollte die kommunale Regierung als politischer Entscheidungsträger eine wichtige Rolle in der nachhaltiger Landnutzung spielen und bei Bauern in den nordthailändischen Bergen das Bewusstsein für Umweltschutz stärken.